

# POTENCIAL PAPELERO DE LA FIBRA DE SISAL (*Agave sisalana*)\*

Daniel I. Santiago A.<sup>1</sup>; Nora Rodríguez de García<sup>2</sup> y Gladys Mogollón<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Departamento de Química y Tecnología, Maracay-Venezuela. dsantiago@cantv.net

<sup>2</sup>Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Dpto. de Química y Tecnología, Maracay-Venezuela. Directora de Capacitación de la Fundación CIARA, Caracas.

<sup>3</sup>Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Jefe de la Sección de Pulpa y Papel, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Mérida-Venezuela. gladysmb@forest.ula.ve

## RESUMEN

Se estudió el potencial de la fibra de sisal (*Agave sisalana*) como materia prima no leñosa para producir pulpa para papel. Se realizó un estudio químico y morfológico de la fibra, así como se determinaron las condiciones de pulpeo más apropiadas para esta fibra mediante el proceso soda-antraquinona. Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de las pulpas. La fibra de sisal presenta bajo contenido de lignina, pero alto en celulosa y hemicelulosas. Las condiciones de cocción más apropiadas para esta materia prima, utilizando el proceso soda-antraquinona son: 12% de álcali activo (expresado como Na<sub>2</sub>O) con 0,025% de antraquinona por un tiempo de 15 minutos a 170°C como temperatura máxima de proceso y con relación materia primalícor 1:5. El rendimiento del proceso de pulpeo químico (63%) es superior al logrado en pulpas químicas de maderas (45-55%). La pulpa de sisal presenta resistencia al estallido y rasgado mayor que la pulpa de Pino caribe (*Pinus caribea*), producida en Venezuela como fuente de fibra larga, mientras que su resistencia a la tensión es similar. Es una pulpa porosa de baja densidad. Los costos variables estimados de producir esta pulpa son mucho menores que los precios reportados para la misma, y ligeramente mayores a los de las pulpas de coníferas. La mejor calidad de la pulpa de sisal pudiera compensar el que posea un mayor costo como materia prima.

**Palabras clave:** Sisal, *Agave sisalana*, pulpa, papel, fibra no leñosa.

## ABSTRACT

The papermaking potential of sisal fiber as a nonwood raw material was evaluated. The chemical and morphological characteristics, as well as, the appropriate cooking conditions for pulping using the soda AQ process were determined. Furthermore, values for the physical and mechanical properties of the sisal pulp were obtained. Unitary production costs were estimated for this process. The sisal fiber possesses a low lignin content but a high cellulose and hemicellulose content. The yield for the sisal pulping is higher than for wood fibers evaluated under similar pulping conditions. The tear and burst strength for the sisal fiber was greater than for caribbean pine fibers, but tensile strength was similar. The estimated variable costs for production of the sisal pulp are lower than the ones reported in the literature for industrial trials, and slightly higher than for softwood fibers. The better fiber quality found in the sisal pulp can compensate its greater cost as a raw material.

**Key words:** Sisal, *Agave sisalana*, pulp, paper, non wood-fiber.

## INTRODUCCIÓN

El sisal (*Agave sisalana*), según Hoyos (1), es una planta xerófila originaria de la península de Yucatán, México. Tanto Maiti (2) como Sánchez (3) informan que esta planta se cultiva para obtener de sus hojas fibras duras empleadas mayormente en la fabricación de cuerdas y sacos, siendo una de las principales fuentes de fibras duras en el mundo que representa alrededor del 70% del mercado mundial.

Por ser una planta xerófila, el sisal puede cultivarse sin necesidad de sistemas de riego en zonas semiáridas donde las condiciones ambientales limitan el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Según Matteuci (4) Venezuela posee 31.420 Km<sup>2</sup> (3,44% del territorio nacional) de tierras semiáridas. Buena parte de estas tierras pudieran incorporarse a la producción agrícola a través del cultivo de sisal, promoviéndose así el desarrollo sustentable de las comunidades que las habitan.

Hoyos (1) explica que, aunque en Venezuela para las décadas de los 40 y 50 el sisal tuvo un gran auge por la gran demanda de cuerdas y mecates de fibra natural que había en la época, en la actualidad el cultivo ha disminuido sensiblemente, siendo una fuerte razón para ello la sustitución de fibra de sisal por fibras sintéticas de polietileno y polipropileno en la fabricación de sacos y cuerdas, puesto que estas últimas resultan más económicas y livianas.

Mujica y Cumare (5) informan que en Venezuela la demanda industrial de fibra de sisal para fabricación de sacos y cuerdas tiene una fuerte competencia con las fibras sintéticas de polipropileno, y esto ha generado el pago de bajos precios a los productores. Como resultado, los productores y obreros dedicados al cultivo de sisal perciben ingresos inferiores al salario mínimo rural. Según explican estos autores, la producción nacional de sisal se concentra en las zonas semiáridas del estado Lara, donde los agricultores disponen de pocas alternativas para la producción y las economías locales dependen en gran medida de la actividad sisalera, fundamentándose básicamente el sustento de unas 4.000 familias en esta actividad.

El deterioro del mercado de la fibra de sisal por su sustitución con fibras sintéticas es una tendencia mundial que, como se indicó en la 28ª reunión del grupo intergubernamental sobre las fibras duras, supone un grave problema para las fibras duras, entre ellas el sisal, que ha puesto en peligro la supervivencia de algunos tipos de fibra (6). En esta reunión se expuso que aunque las fibras duras son relativamente poco importantes en cuanto a su valor en el comercio internacional, suponen una importante ayuda económica para la población de algunas de las zonas más pobres y menos desarrolladas de los países productores. Por lo tanto, se hace necesaria la búsqueda de usos alternativos para estas fibras, a fin de crear nuevos mercados de venta para las mismas. La pulpa para fabricación de papel pudiera ser uno de esos usos alternativos que pudieran aumentar el consumo de fibra de sisal, y compensar las pérdidas ocurridas en sus mercados tradicionales (6).

Misra (7) informa que en Brasil se inició el cultivo de sisal (*Agave sisalana*) para suministrar materia prima correspondiente a una producción de 64.000 toneladas de pulpa blanqueada de alta calidad, de fibra larga, obtenida exclusivamente de sisal. Este autor explica que la pulpa de sisal tiene una resistencia a la rotura excepcionalmente elevada, siendo el resto de sus propiedades de resistencia comparables

a las pulpas de maderas de coníferas; y que debido a sus excepcionales características fibrosas, la pulpa de sisal, y otras pulpas no leñosas obtenidas de fibras empleadas en cordelería, se utilizan para manufacturar papeles especiales, tales como bolsitas para té, papel carbón, papel Biblia, papel aislante para cables y para condensadores, papel para cigarrillos y otras clases de papeles delgados.

McLaughlin (8) menciona que una de las mayores compañías de pulpa y papel de los Estados Unidos utilizaba fibra de sisal como una de las materias primas para fabricar papeles especiales. Este autor señala que para 1991 la pulpa de sisal blanqueada se cotizaba a altos precios en la industria de papel, que se encontraban entre 1800 y 2400 \$ USA la tonelada.

Esta investigación tuvo por objetivo evaluar el potencial de la fibra de sisal (*Agave sisalana*) producida en Venezuela como materia prima en la fabricación de pulpa para papel, con la finalidad de incentivar, en un futuro, este nuevo uso de la fibra en el país, y así contribuir a crear un nuevo mercado de venta que aumente su consumo. Abarca un estudio de la composición química de la fibra, caracterización morfológica de ésta, determinación de las condiciones de pulpeo más apropiadas para esa materia prima, determinación de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa de sisal como índices de su calidad, y finalmente, una estimación de los costos de producción de la pulpa.

## METODOLOGÍA

La materia prima utilizada en el estudio fue la fibra seca de sisal obtenida por el método tradicional de raspadura de la hoja que se aplica en las zonas sisaleras del estado Lara, la cual se comercializa para la industria de cordelería en Venezuela. Se obtuvo de un intermediario que la comercializa en la localidad de Aguada Grande, Municipio Urdaneta del Estado Lara.

Para obtener la fibra de las hojas o pencas, estas se hacen pasar por una unidad desfibradora portátil que consiste en una rueda metálica provista de cuchillas en su perímetro que gira y tiene la finalidad de golpear la hoja hasta despojarla de su material carnoso, quedando los haces fibrosos libres. Un motor a gasolina hace girar a esta rueda o unidad raspadora. La fibra luego es secada al sol, empacada

y comercializada. De este proceso surge un residuo denominado ripio, que proviene del material carnoso removido de la hoja. Este desecho pudiera recibir diversas aplicaciones porque contiene sustancias químicas valiosas.

Una muestra de la fibra fue molida y dejada libre de extractivos siguiendo el método indicado por la norma TAPPI T-264 (9). Luego, a la muestra libre de extractivos se le hicieron las determinaciones de celulosa, holocelulosa y lignina. La celulosa se determinó por el método de K. Seifert y la holocelulosa se determinó mediante el método de Jayme-Wise, ambos métodos explicados por Rodríguez (10). La lignina se determinó por el método de Klason siguiendo la norma TAPPI T-222 (9). Se estimó el contenido de hemicelulosas por diferencia entre holocelulosa y celulosa. Todas las determinaciones se hicieron por triplicado y en base a material seco.

Para el estudio morfológico de la fibra se siguió la metodología utilizada por el Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, Venezuela, para materias primas fibrosas empleadas en la fabricación de papel. Se preparó un macerado de las fibras, y las láminas correspondientes para su observación microscópica, se hicieron mediciones de la longitud, diámetro externo y diámetro interno de las células fibrosas. Se calcularon los índices morfológicos que relacionan estas dimensiones entre sí y aportan información en cuanto a la aptitud del material para la fabricación de papel.

Para la conversión de la fibra de sisal en pulpa, se utilizó el proceso soda-antraquinona por ser el proceso utilizado a escala industrial en Venezuela para el bagazo de caña, la materia prima no leñosa empleada por años a escala comercial en el país por la industria papelera. Por limitaciones experimentales no se exploró con otros procesos de pulpeo, aunque el bajo contenido de lignina de esta materia prima pudiera permitir el uso de otros procesos como oxígeno. Las cocciones fueron realizadas en un digestor tipo autoclave giratorio de 1 r.p.m. y 15 litros de capacidad. Se utilizaron como condiciones de cocción constantes 170°C de temperatura máxima, 0,025 % de antraquinona y relación materia prima-licor 1:5. Para determinar la concentración de álcali activo (AA) y el tiempo de cocción a temperatura máxima óptimos, se aplicó un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial 4x2, con tres réplicas para cada tratamiento. Se ensayaron los niveles de 7%, 10%, 12% y 15% de AA, expresado en la forma

de Na<sub>2</sub>O, por dos tiempos a temperatura máxima: 15 minutos y 30 minutos. Después de la cocción, cada pulpa fue desfibrada, tamizada, exprimida y desmenuzada. Se determinó el rendimiento en pulpa, base seca, de cada cocción. Fue determinado el Índice Kappa de cada pulpa como medida del grado de deslignificación logrado en la cocción, siguiendo la norma TAPPI T-236 (9).

Se utilizó un molino PFI para el refinado de la pulpa siguiendo la norma TAPPI T-248 (9). Como indicador del grado de refinado se determinó el escurrimiento o freeness (CSF) siguiendo la norma TAPPI T-227 (9). Se hicieron hojas de mano con peso base de 60 g/m<sup>2</sup> para los ensayos físico-mecánicos según la norma TAPPI T-205 (9). Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de la pulpa, tales como, resistencia a la tensión, estallido y rasgado, según se establece en la norma TAPPI T-220 (9). Las comparaciones de las propiedades físico-mecánicas se hicieron con pulpas refinadas a 350 ml CSF.

El análisis estadístico fue realizado con el programa SAS aplicando un análisis de varianza vía paramétrica para un diseño completamente al azar en arreglo factorial 4x2, previa comprobación de los supuestos del análisis de varianza. Se realizó la prueba de medias de Tukey. Fue utilizado un nivel de significación a del 5%.

Sobre la base de los datos experimentales de rendimiento en las condiciones de pulpeo óptimas, se calculó la cantidad de fibra, antraquinona, hidróxido de sodio y energía necesarias para producir una tonelada de pulpa, y por la suma del valor de cada uno de estos insumos, se estimó el costo variable de producción aproximado de la pulpa por tonelada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Análisis químico de la fibra

Los resultados del análisis químico de la fibra se presentan en el cuadro 1.

Se destaca el bajo contenido de lignina de esta materia prima, frente a un elevado contenido de celulosa y hemicelulosas contenidas en la fracción holocelulosa. Rodríguez y Peña (11) reportan para la madera de pino caribe (*Pinus caribea*) 30,04 % de lignina y 46,67 % de celulosa. Puede notarse que el contenido de lignina del sisal es bastante bajo en comparación con la madera de pino. Esta información

es indicadora de que la fibra de sisal requiere procesos de pulpeo químico con menor cantidad de reactivos y tiempo de cocción, que los aplicados a la madera de pino y a otras materias primas cuyo contenido de lignina es más alto.

## 2. Análisis Morfológico de la fibra

**Cuadro 1.** Composición química de la fibra de sisal (*Agave sisalana*).

Fracción determinada	Porcentaje en base seca
Extractivos Totales	11,44 ± 0,31
Celulosa	50,15 ± 0,27
Holocelulosa	81,36 ± 0,07
Lignina	6,23 ± 0,2
Hemicelulosas (estimadas)	31,21

Las dimensiones de la fibra de sisal se muestran en el cuadro 2 y en el cuadro 3 se presentan los índices morfológicos de la fibra de sisal.

Índices Morfológicos:

– *Índice de Afieltramiento.*

Se define por la relación entre la longitud y el

**Cuadro 2.** Dimensiones medias de las células fibrosas de sisal (*Agave sisalana*).

Dimensión	Valor Promedio
Longitud	3,10 mm
Diámetro Externo	19,79 mm
Diámetro Interno	12,55 mm
Espesor de la Pared	3,62 mm

**Cuadro 3.** Índices Morfológicos de la fibra de sisal (*Agave sisalana*).

Índice	Valor	Clasificación de la fibra
Índice de Afieltramiento (IA)	157	Extremadamente fieltrante
Índice de Flexibilidad (IF)	63	Fibra flexible
Fracción de pared (FP)	37	Celulosa de calidad
Índice de Runkel (IR)	0,58	Fibra buena para hacer papel

ancho de las fibras, algunos autores sostienen que esta relación no tiene apreciable efecto en las propiedades del papel.

– *Índice de Flexibilidad.*

Es la relación existente entre el diámetro del lumen y ancho de la fibra en porcentaje. Cuanto mayor es esta relación más flexible se torna la fibra y por lo tanto existe mayor unión entre ellas, con esto se aumenta la resistencia al rasgado.

– **Índice de Runkel.**

Se define como la relación entre dos veces el espesor de la pared y el diámetro del lumen. Cuanto menor es la relación largo/ancho mayor es la flexibilidad de las fibras y mayor la posibilidad de producir papel de buena calidad. Cuando este índice es mayor que la unidad, las maderas no son susceptibles para la producción de papel de buena calidad

– *Fracción de Pared.*

Es la relación porcentual entre dos veces el espesor de la pared celular y el diámetro de la fibra. Generalmente, se admite que cuando la Fracción de Pared de un cierto tipo de material fibroso es mayor de 40%, este no formará papel de cualidades satisfactorias, debido a que las fibras son extremadamente rígidas, poco flexibles y habrá dificultad de unión entre ellas (5).

Las dimensiones de la fibra de sisal revelan que se trata de una materia prima de fibra larga, ya que su longitud promedio es de 3,1 mm, y según Otero y Philipp (12) se consideran fibras largas a aquellas cuya longitud media sea mayor a 2 mm. Esta característica es de suma importancia porque las fibras largas incrementan la resistencia del papel. Según la información que aportan los índices morfológicos, la fibra de sisal es una materia prima de buena calidad para fabricar papel.

## 3. Condiciones óptimas de pulpeo para la fibra

En los cuadros 4 y 5 se presentan los resultados del análisis estadístico.

El análisis de varianza mostrado en el cuadro 4 revela que existen diferencias estadísticamente significativas de todas las variables para las distintas concentraciones de álcali activo utilizadas; mientras que para los tiempos ensayados sólo se presentaron

**Cuadro 4.** Resumen del análisis de varianza de los factores % de álcali activo y tiempo a temperatura máxima para cocciones de fibra de sisal (*Agave sisalana*).

Fuente de Variación	Variables				
	Rendimiento Total	Índice Kappa	Índice de estallido	Índice de rasgado	Índice de tensión
% de Alkali Activo	*	*	*	*	*
Tiempo a T máxima	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Interacción	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Coficiente de Variación	3,24 %	3,70 %	3,26 %	7,85 %	3,96 %

Nota: \*Indica que existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación  $\alpha = 5\%$ .  
n.s.: No hay diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación  $\alpha = 5\%$ .

**Cuadro 5.** Resumen de las pruebas de medias para el factor % de álcali activo en el pulpeo de la fibra de sisal (*Agave sisalana*).

% de Alkali Activo	Rendimiento Total (%)	Índice Kappa	Índice de estallido (KPa.m <sup>2</sup> /g)	Índice de rasgado (mN.m <sup>2</sup> /g)	Índice de tensión (N.m/g)
7%	72,28 a	57,04 a	7,325 b	32,278 b	65,342 b
10%	67,58 b	30,29 b	8,152 a	37,815 a	78,477 a
12%	63,36 c	14,89 c	8,378 a	39,670 a	83,455 a
15%	60,17 c	12,18 d	8,235 a	31,690 b	79,487 a

Nota: Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significación  $\alpha = 5\%$ .

diferencias estadísticamente significativas del índice Kappa. Ni el rendimiento total ni las propiedades de resistencia de la pulpa mostraron diferencias significativas en los tiempos ensayados. Por tal razón, sería apropiado utilizar el tiempo menor de los ensayados, es decir, 15 minutos, para hacer más rápido el proceso y consumir menos energía. Para ninguna de las variables se observó efecto significativo de la interacción entre ambos factores.

En el cuadro 5 se observa cómo el rendimiento total disminuyó con mayores concentraciones de álcali activo (AA), pero en todos los casos fue superior al 60 %. McGovern (13) indica que los rendimientos del pulpeo químico de la madera van de 45 a 55 %. Por lo tanto es posible obtener pulpa química de sisal con un rendimiento superior al de la pulpa química de madera.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas del número Kappa tanto para todas las concentraciones de AA como para los tiempos ensayados (cuadros 4 y 5). En la figura 1 se observa la deslignificación de la pulpa de sisal medida mediante

el índice Kappa, respecto a las diferentes condiciones de cocción.

Puede observarse en la figura 1 un marcado aumento en la deslignificación al pasar de 7 % a 12 % de AA, pero que con concentraciones de AA superiores a 12 % no hay un efecto adicional importante sobre la deslignificación de la pulpa. Utilizar concentraciones superiores a 12 % de AA constituye un exceso de reactivo que se desperdiciará.

En la figura 2 se observa la variación de las propiedades de resistencia a la tensión, estallido y rasgado de la pulpa de sisal con respecto a la concentración de álcali activo.

De acuerdo a lo presentado en la figura 2, en todos los casos las propiedades presentaron un máximo valor en la pulpa obtenida con 12 % de AA, aunque no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para estas propiedades en los niveles de 10% y 12% de AA (ver cuadro 5). Se destaca la resistencia al rasgado, que aumenta significativamente al pasar de una concentración de 7 % AA a 12 % AA, y luego disminuye significativamente al aumentar a 15% AA.



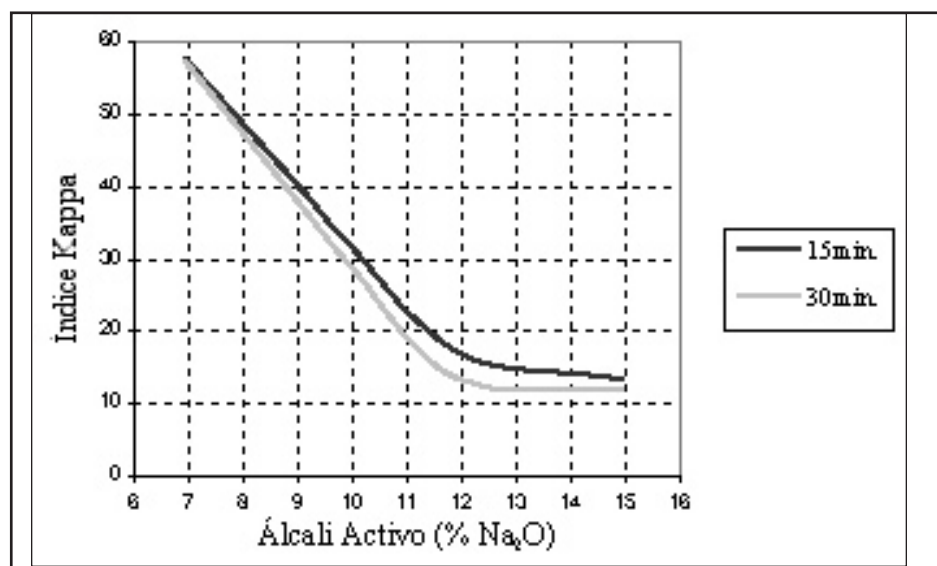


Figura 1. Deslignificación lograda en la pulpa de sisal (*Agave sisalana*) utilizando diferentes condiciones de pulpeo para la fibra.

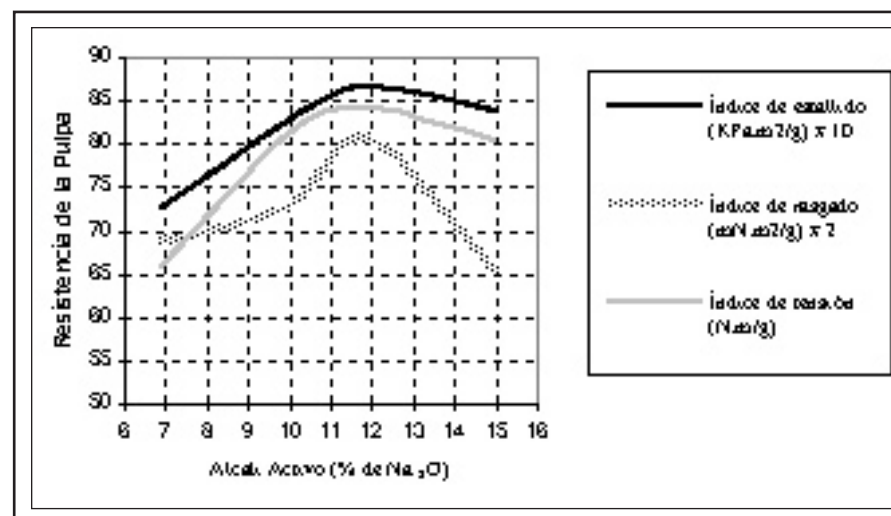


Figura 2. Comportamiento de las propiedades de resistencia de la pulpa de sisal (*Agave sisalana*) respecto a la concentración de álcali activo utilizada en cocciones de 15 minutos a 170°C.

Posiblemente concentraciones de AA superiores al 12 % provoquen un deterioro de la pulpa por hidrólisis alcalina de la celulosa, acortando las cadenas del polímero y reduciendo la resistencia de la pulpa.

Según estos resultados, de las condiciones de cocción ensayadas, las más apropiadas son 12 % de AA por 15 minutos a la temperatura máxima de 170°C, utilizando 0,025 % de antraquinona y relación materia prima-licor 1:5; ya que en esas condiciones se logra simultáneamente una alta deslignificación y una alta resistencia de la pulpa.

En la figura 3 se observan las curvas de refino de la pulpa de sisal.

La pulpa de sisal responde al refino de manera similar a las pulpas provenientes de otras materia prima empleadas tradicionalmente en la fabricación de papel. Las propiedades de resistencia aumentan con el refino, con excepción de la resistencia al rasgado que disminuye.

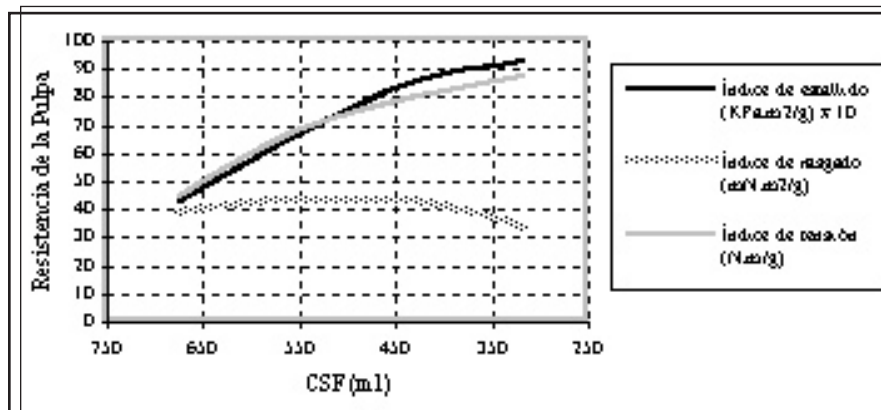


Figura 3. Comportamiento durante el refinado de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa de sisal (*Agave sisalana*) obtenida con 12% de AA por 15 minutos a 170°

#### 4. Comparación con otras pulpas

En la figura 4 se comparan algunas propiedades físico-mecánicas de la pulpa de sisal con las propiedades físico-mecánicas de pulpas de pino caribe y bagazo de caña, materias primas de fibra larga y fibra corta, respectivamente, que han sido empleadas en Venezuela en la fabricación de pulpa.

Puede observarse que las propiedades de resistencia de la pulpa de sisal presentan valores más altos incluso que la pulpa de pino caribe (*Pinus caribea*), producida en Venezuela como fuente de fibra larga. Destaca particularmente una resistencia al rasgado varias veces mayor. La resistencia a la tensión es

similar a la presentada por la pulpa de pino caribe, aunque ligeramente mayor. Por otra parte la densidad de la pulpa de sisal es menor, lo que indica que se trata de una pulpa de mayor porosidad. De esta comparación puede deducirse que la fibra de sisal es una materia prima que permite obtener una pulpa de alta calidad, superior a la calidad de las pulpas producidas hasta el momento en Venezuela con otros materiales fibrosos.

Podemos definir álcali activo (AA) como el total de NaOH + Na<sub>2</sub>S utilizado en la cocción expresado en porcentaje y sulfidez (S) la razón de Na<sub>2</sub>S a álcali activo que se debe definir en cada caso.

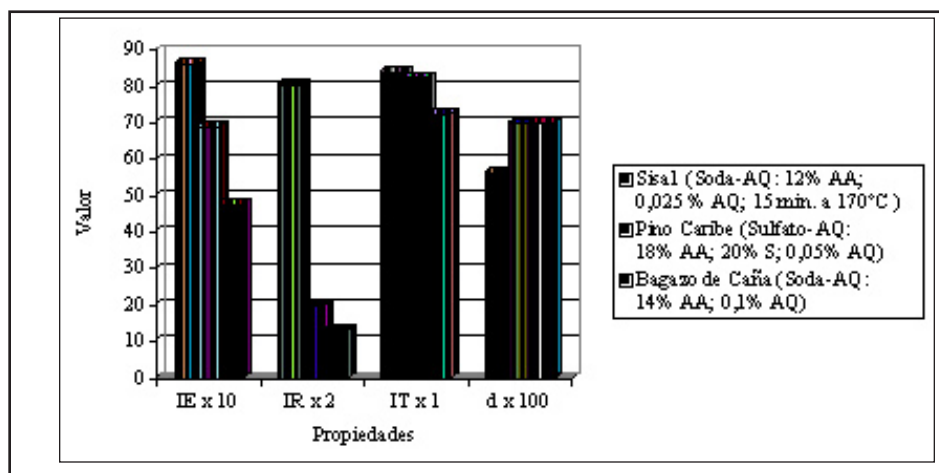


Figura 4. Propiedades físico-mecánicas a 350 ml de CSF de la pulpa de sisal (*Agave sisalana*) y otras pulpas producidas en Venezuela  
Fuente: Datos de la pulpa de pino caribe Rodríguez y Peña (11), de bagazo de caña Delgado y Rondón (14).

## 5. Estimación de costos

En el cuadro 6 se presenta la estimación de costos variables por tonelada de pulpa de sisal, siendo estos de aproximadamente 488 \$ USA.

Si se incorporaran otros elementos de costo no considerados en esta estimación como los costos fijos, es posible que el costo de producción se acerque a 550 \$ USA por tonelada. Comparando estos costos con los precios reportados por McLaughling (8) a los que se cotiza la pulpa de sisal en el mercado internacional, que van de 1800 a 2400 \$ USA la tonelada, es posible que sea factible producir esta pulpa en Venezuela con fines de exportar a los mercados que pagan altos precios por su calidad para papeles especiales.

Puede notarse que la mayor parte de los costos son debidos al costo de la fibra. Si se pudieran producir pulpas a nivel industrial con la fibra de sisal, podría reducirse el costo de esta materia prima al extender el cultivo y mejorar su productividad utilizando mejores técnicas agronómicas y métodos mas eficientes para la extracción de la fibra.

Aunque el costo de la pulpa de sisal supera a los precios de las pulpas de coníferas existentes en el mercado internacional (alrededor de 500 \$ USA/TM), la mayor calidad de ésta pudiera compensar un mayor costo; y pudiera permitir la sustitución de las pulpas de coníferas con cantidades más pequeñas de pulpa de sisal en la fracción de fibra larga de algunos tipos de papel.

## CONCLUSIONES

La fibra de sisal (*Agave sisalana*) presenta un bajo contenido de lignina pero alto de celulosa y hemicelulosas, por lo que se requieren condiciones de pulpeo químico menos severas, para esta materia prima, que las utilizadas para pulpas químicas de materias primas con mayor contenido de lignina como la madera de pino. Las características morfológicas de la fibra de sisal indican que es una materia prima de fibra larga, de buena calidad para fabricar papel. El rendimiento del proceso de pulpeo químico de la fibra de sisal (63%) es superior al de las pulpas químicas de madera (45-55%).

Las condiciones de cocción más apropiadas para esta materia prima, utilizando el proceso soda-antraquinona son: 12% de álcali activo (expresado como Na<sub>2</sub>O) con 0,025% de antraquinona por un tiempo de 15 minutos a 170°C como temperatura máxima de proceso y con relación materia prima-licor 1:5. En estas condiciones se logra una buena deslignificación y una alta resistencia de la pulpa.

La pulpa de sisal responde al refinado de manera similar a la mayoría de las pulpas. Todas las propiedades de resistencia aumentan con excepción del rasgado a mayor grado de refinado. Esta pulpa presenta una resistencia al rasgado excepcionalmente alta en comparación con otras pulpas de materias primas producidas en Venezuela, como el pino caribe (*Pinus caribea*). Su resistencia al estallido también es alta, mientras que su resistencia a la tensión presenta un valor similar al de la pulpa de fibra larga proveniente de Pino caribe. La pulpa de sisal es una pulpa de menor densidad que otras pulpas, lo que a su vez esta indicando una alta porosidad.

**Cuadro 6.** Estimación de los costos variables de producción por tonelada métrica de la pulpa de sisal (*Agave sisalana*).

Insumo	Cantidad	Precio Unitario	Costo del insumo en Bs.	Costo del insumo en \$ USA
Fibra de Sisal	1.587,3 Kg	160,0 Bs./Kg	253.920,0	406,3
Hidróxido de Sodio (50% p/p)	491,5 Kg	80,0 Bs./Kg	39.320,0	62,9
Antraquinona (50% p/p)	0,8 Kg	2.188,0 Bs./Kg	1.750,4	2,8
Combustible	144 L	70 Bs./L	10.080,0	16,1
Costo Total:	339.150,4 Bs	488,1 \$ USA		

Nota: Se utilizó una tasa de cambio de 625 Bs/\$ USA para los cálculos. Los precios de los reactivos fueron suministrados por Raisio Química Andina de Venezuela S.A. El precio de la fibra es el manejado en el mercado al momento de la estimación.



La fibra de sisal es una materia prima de mayor calidad para fabricar pulpa para papel, que las materias primas fibrosas producidas hasta el momento en Venezuela con ese fin.

Los costos de producción de la pulpa de sisal son mayores que el precio de mercado de las pulpas de fibra larga procedentes de coníferas, pero la mayor calidad pudiera compensar un costo mas alto. Pudiera ser factible económicamente producir en Venezuela pulpa de sisal con fines de exportación para su uso en papeles especiales debido a los altos precios a los que se cotiza esta pulpa en algunos mercados.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HOYOS, J. "Plantas notables: El sisal", *Natura* (Caracas), vol.1998, num.10, pp.16-19. (1998)
2. MAITI, R. "Fibras vegetales en el mundo: Aspectos botánicos, calidad y utilidad", Edit. Trillas, México. 300 p. (1995)
3. SÁNCHEZ, A. "Cultivos de fibras", 2da edición, Edit. Trillas, México. 84 p. (1991)
4. MATTEUCCI, S. "Las zonas áridas y semiáridas de Venezuela", *Revista zonas áridas* (Lima), vol.1986, num.4, pp.39-48. (1986)
5. MUJICA, R.; CUMARE, A. "Situación crítica de los pequeños productores de sisal en el Estado Lara", Fundación Para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela (FUDECO), Barquisimeto. (Mimeografiado). 11 p. (1995)
6. FAO. "Una estrategia de desarrollo para las fibras duras", en Informe de la 28va Reunión del Grupo Intergubernamental sobre las fibras duras, Colombo (Sri Lanka), Nov. 15-18, 1994. (1995)
7. MISRA, D. "Producción y blanqueo de pulpas de fibras no leñosas", en *Pulpa y papel: Química y tecnología química*, J. CASEY, vol.I, pp.602-674. Edit. Limusa, México. (1990)
8. MCLAUGHLIN, S. "Domestication of Hesperaloe: Progress, problems, and prospects", in: *Progress in new crops*, J. Janick (ed.), pp.395-402. ASHS Press, Arlington, VA. En Internet URL: <http://newcrop.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/V3-395.html> (1996)
9. TAPPI. "Tappi Test Methods", Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Georgia (USA). (1989)
10. RODRÍGUEZ, L. "Métodos de análisis empleados en la industria papelerera", Centro de Investigaciones en Celulosa y Papel, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia), 156 p. (1978)
11. RODRÍGUEZ, A.; PEÑA, V. "Evaluación de características papeleras del *Pinus caribea* var. *hondurensis* proveniente de plantaciones en el oriente venezolano", Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Proyecto Especial de la O.E.A. Evaluación de Recursos Fibrosos Venezolanos Provenientes de Plantaciones, Mérida, 13 p. (1986)
12. OTERO, M.; PHILIPP, P. "Celulose e Papel Volume II: Tecnología de Fabricação do Papel", 2ª edição, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo (Brasil), 964 p. (1988)
13. MCGOVERN, J. "Introducción a la producción de pulpa", en *Pulpa y papel: Química y tecnología química*, J. CASEY, vol.I, pp.209-217. Edit. Limusa, México. (1990)
14. DELGADO, C.; RONDON, R. "Pulpeo del bagazo de caña por el proceso Soda-antraquinona", Tesis Ingeniero Forestal, Uni POTENCIAL PAPELERO DE LA FIBRA DE SISAL (Agave sisalana)\*.